# せん断帯のせん断波速度に関する考察

日大生産工(院)○菅沼 丈夫 日大生産工 西尾 伸也

1 はじめに

日本周辺海域には豊富なメタンハイドレートが賦存 しており、メタンハイドレート開発対象域には断層等 の不連続面が存在する.メタンハイドレートの分解に 対しては主に減圧法による商業的開発が検討されてお り、この不連続面の特性によっては減圧法適用時に減 圧がうまく伝わらず、ガス生産性に与える影響が懸念 されている<sup>1)</sup>.

本研究では不連続面の特性を把握するために海底地 盤を模擬した人工粘土の繰返し一面せん断試験・ベン ダーエレメント(以下BEと略記)試験を実施し、せん断 によって生成させた不連続面(せん断帯)のせん断波速 度について考察した.

### 2 試料および試験条件

試料は,粉末乾燥状態で市販されているNSF粘土 (*ρ*s=2.78g/cm<sup>3</sup>, w1=55.1%, w2=30.0%, *I*v=25.1)に液性 限界の約2倍以上になるよう,蒸留水を加え攪拌し圧密 応力100kPaで予圧密したものである.

本研究では一面せん断試験装置(供試体:直径60mm ×高さ20mm)を使用し、載荷板及び底板に発振用BE 及び受振用BEを設置し、供試体を鉛直方向に伝播する せん断波速度を計測した.使用したBEの寸法は、幅 10mm×長さ12mm×厚さ0.5mmであり、BEの表面に はエポキシ樹脂を被覆して、電気的絶縁及び防水機能 を確保している.

## 3 測定概要

圧密過程およびせん断過程においてBE試験を実施し、 せん断波速度 Vsを測定した. 圧密過程では所定に圧密 圧力まで段階的に垂直応力を載荷し、その後、垂直応 力を除荷した. せん断過程では所定の垂直応力まで圧 密終了後に定体積及び定圧条件における繰返し一面せ ん断試験を行った. 変位は6mmの片振りとし、10回ま で繰返しせん断を行った. また、せん断波速度は、地 盤工学会基準20を一面せん断試験に適用して計測した.

4 圧密過程におけるせん断波速度

図.1は、eとのの関係を示したものである. 図中のプ ロット点において、測定したせん断波速度の値を図2 に示す.正規圧密状態を黒丸、過圧密状態を白抜き記 号で示した.正規圧密状態から過圧密状態に移行する ことにより、Vsが低下することが分かる.



図.2 圧密および除荷試験における Vsの変化 Man.T.Buiら<sup>30</sup>は, せん断弾性係数の間隙比依存性お よび拘束圧依存性を様々な試料の測定結果から検討し, 以下の式を提示している.

#### $V_{\rm S} = \mathcal{A} (1+e)^{-m} \sigma^{\rm n} \quad (1)$

ここで、 Aは実験定数、mはせん断波速度の間隙比 依存性の程度を示す指標であり、nは応力依存性の程 度を表す指標である.本実験結果に式(1)を適用し、 正規圧密状態および過圧密状態で求めた Vsについて

Shear wave velocity of shear band in direct shear box test specimen

Takeo SUGANUMA and Shinya NISHIO

重回帰分析により間隙比依存性,応力依存性を求め た結果,以下の式を得た.

 $V_{\rm S} = 120.42(1+e)^{-1.021} \sigma^{0.197}$  (2) 図.3 は式(2)を用いて,間隙比で正規化したせん断波 速度と応力との関係を示したものである.正規圧密 状態および過圧密状態で得られた計測値が式(2)で近 似できることが分かる.



## 5 せん断帯におけるせん断波速度

せん断中のせん断帯の厚さを一定と仮定し(図.4),供 試体の厚さをH, せん断帯の厚さをHsB, せん断帯を含 む土のせん断波速度をVs, せん断帯を含まない土のせ ん断波速度をVscとするとせん断帯のせん断波速度 VsBは,以下の式から求めることができる.

VsB=1/((H/HsB)(1/Vs-1/Vsc)+1/Vsc) (3) ここに、Vsは測定値、Vscは間隙比依存性・応力依存 性を考慮した式(2)より算出できる.また、定圧条件 においてはせん断に伴い体積変化が生じるため、供 試体内に均一な変形が生じると仮定して、HsBの変化 も考慮することにした.



図.4 不連続面せん断帯モデル 式(3)を用いて推定した定体積条件における*Vsb*の変 化を図.5,定圧条件における*Vsb*の変化を図.6に示す.

定体積条件では、繰返しせん断に伴い VSB は減少 し、圧密応力 200kPa の供試体においては、繰返し せん断 9 回目から同じ値を示した. せん断帯の生成 過程に関する考察<sup>3</sup>によれば、圧密圧力 200kPa の供 試体では、10 回目にはせん断帯の形成が確認されて おり、せん断帯の形成過程と残留状態との関連が示 唆されている. このことからせん断帯の形成段階で は VSB は減少し、残留状態に至ると一定値に収束す ると考えられる. 定圧条件では定体積条件と同様に 繰り返しせん断に伴い VsB は減少していくが、定体 積条件と比べて変化が少なく、早い段階から VsB が 一定値に収束する傾向が見られた。一方、圧密圧力 600kPaの供試体においては、繰返し2回目までは減 少するが、繰返し回数の増加に伴い VsBは増加した. これは仮定した供試体内部の均一性が確保できずせ ん断帯に変形が集中した可能性も示唆される。

以上のことから,繰返しせん断に伴うせん断帯のせん断波速度の変化はせん断帯形成と密接な関係があり, せん断帯の厚さが特定できれば,その変化を推定し, 不連続面の特性把握に繋げることが可能である.





## 6 まとめ

せん断波速度の応力依存性,間隙比依存性を定式化し, 不連続面せん断帯モデルを適用することにより,せん 断帯のせん断波速度を評価する手法を考察した.

#### 「参考文献」

-360 ----

- メタンハイドレート資源開発研究コンソーシア ム,http://www.mh21japan.gr.jp
- 地盤工学会基準「ベンダーエレメント法による土のせん 断波速度測定方法」JGS0544:2011
- 3) Man T. Bui, C.R.I. Clayton, Jeffrey A. Priest : The universal void ratiofunction for small strain shear modulus, *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, No.1.24a pp.1-7, 2010.5.
- 4) 小宮勇人,石田周平,菅沼丈夫,西尾伸也:繰返し一面せん断試験におけるせん断帯の生成過程に関する考察.第 53回地盤工学研究発表会D-06 0206